Beiträge zur näheren Kenntniss des Chlorophylls[1].

Von Jos. Ant. Böhm.

(Vorgetragen in der Sitzung am 9. October 1856.)

Es gibt wohl keinen Gegenstand in der Naturwissenschaft, welcher ein vielseitigeres Interesse darböte, als der über die Farbstoffe der Pflanzen. — Er ist nicht nur Object des Phytotomen, sondern gehört eben so gut, ja aus mannigfachen Gründen noch mehr in das Gebiet des Physikers und Chemikers. Ersteren kümmern die Pflanzenfarben nur in so ferne, als er die Form, in welcher, und die Pfanzentheile, in denen sie vorkommen, anzugeben hat; alles Übrige, was eigentlich über ihre Natur Aufschluss verschaffen kann, gehört in das Gebiet der Physik und Chemie.

Unter den verschiedenen Pflanzenfarben ist es aber die grüne, die wegen der Grossartigkeit ihres Auftretens und des Einflusses auf den gesammten Haushalt der Natur vor allen andern unser Augenmerk auf sich zieht, und von jeher die Aufmerksamkeit der denkenden Menschen erregt hat.

Ich erlaube mir im Folgenden einen kurzen Überblick über die Geschichte des Chlorophylls nicht nur in anatomischer, sondern auch in chemisch-physicalischer Beziehung zu geben, da man in Zukunft, um in diesem Gegenstande auch nur in einer Richtung Erspriessliches leisten zu können, denselben allseitig kennen muss und weil die Kenntniss desselben von der einen Seite auch viele erfolgreiche Gesichtspunkte in der andern eröffnen wird.

Aristoteles[2]) war der Erste, der sich über die Farben im Allgemeinen, und über die der Pflanzen insbesondere ausspricht. Er unterscheidet zwei Hauptgruppen von Farben: die einfachen, und die

---

[1]) Die Abhandlung wurde dem Secretär am 17. Juli übergeben, konnte aber des vorliegenden reichen Materiales und der eingetretenen akademischen Ferien wegen nicht zum Vortrage in der Classe gelangen.

[2]) Über die Farben, erläutert durch eine Übersicht der Farbenlehre der Alten, von Dr. Karl Prantl. München 1849.

durch Vermischung aus diesen entstandenen. Die einfachen Farben begleiten die Elemente: Gelb das Feuer, weiss die Luft, das Wasser und die Erde (ursprünglich); schwarz entsteht, wenn die Elemente in einander übergehen. Die grüne Farbe aber ist eine Mischung des Gelben und Schwarzen. Alle Pflanzen, wenn sie aus der Erde hervorwachsen, sind grün. Weiss erscheinen sie, wenn das Feuchte in ihnen sich nicht mit den Sonnenstrahlen mischt. Die übrigen Pflanzenfarben entstehen durch organische Kochung, je nach dem Verhältnisse der Wärme und der Menge der zugeführten Nahrung.

Mehr als tausend Jahre verfliessen, ohne dass man sich um die Entstehung der Farben auch nur im Allgemeinen kümmert, bis endlich Paracelsus[1]) den Grund der chemischen Farbenerscheinungen im Schwefel findet.

Die folgenden Erklärungen der Pflanzenfarben richten sich nach den jeweiligen Ansichten, die man über die Entstehung der Farben und über das Licht im Allgemeinen hatte, und mit der physicalischen Erkenntniss des letzteren vervollkommnet sich auch die Einsicht in das Wesen der ersteren.

Nach Isaac Vossius[2]) ist die Farbe als ein von den Körpern Verschiedenes, diesen Beigemischtes zu betrachten. Trennt man von den Körpern die Farbe, so werden sie durchsichtig. — Ursache und Ursprung der Farben sind aber Feuer und Wärme, ist das Verbrennen der Körper. Die Pflanzen und Thiere der tropischen Zone zeigen daher eine viel grössere Farbenpracht als die der nördlichen Gegend. — Der Grundstoff der Farben schreibt sich vom Schwefel her, und nach dem verschiedenen Brennen dieses Elementes entstehen die verschiedenen Farben.

Die erste Farbe ist das Weisse, auf welches das blässere Grün und das Gelbe folgen. Ist die Wärme so schwach, dass sie das Schwefelige in den Körpern nur auflöst, so entsteht das Grüne. Verursacht aber die Wärme eine mächtigere Kochung, so entsteht nach dem Weissen sogleich das Gelbe, welches reifer und feuriger ist, als das rohe und wässerige Grün.

Newton[3]) erklärt das Pflanzengrün nach dem Principe der nach ihm benannten Farbenkreise; es ist nach ihm ein Grün

---

[1]) De natura rerum. IX Bücher. Strassburg 1584 u. a. O.

[2]) De lucis natura et proprietate. Amstelod. 1662.

[3]) Optics. Latine a. S. Clarke. Lusanae et Genevae 1740. 4.

dritter Ordnung, und beim Welken der Blätter geht es alle Stufen des dritten Ringsystems durch. Newton kannte die Ursache der Farbenkreise nicht; würde man seine Lehre über das Pflanzengrün annehmen, so müsste man dasselbe durch Interferenz erklären.

In phytotomischer Beziehung ist der Sitz des grünen Farbstoffes der Pflanzen den ersten Untersuchern gänzlich entgangen. Malpighi erwähnt nichts von ihm, und unter den späteren Phytotomen scheint Mirbel[1]) zuerst den körnigen Inhalt der Zelle gesehen zu haben. Die Löcher und Poren, welche Mirbel in der Membran der Zelle beschreibt, sind zum grossen Theile sicher nichts anderes als das, was wir mit dem Namen Chlorophyllkörner bezeichnen.

Sprengel[2]) erkannte schon den Irrthum Mirbel's, und gibt an, dass die von demselben beschriebenen Gebilde in den Zellen desshalb keine Poren sein können, weil sie frei in denselben herumschwimmen. Er glaubt aber, dass die Körner und Bläschen, womit z. B. die Samenlappen der Bohne gefüllt sind, sich in der Folge zu neuen Zellen entwickeln können, und als Niederschläge aus den Zellsäften zu betrachten seien. Derselben Ansicht ist auch L. C. Treviranus[3]).

Wahlenberg[4]) gibt an, dass der grüne Farbstoff in der lebenden Pflanze nicht die Körnerform besitze, sondern in Gestalt einer grünen klebrigen Flüssigkeit *(glutinosum viride)* enthalten sei; erst aus der Pflanze ausgezogen zu Kügelchen gerinne, und mit concentrirter Schwefelsäure behandelt, nach einiger Zeit ein schönes Blau gebe. Er nennt ihn den grünen Satz *(faecula viridis)* des gerinnbaren Zellsaftes.

Proust[5]) bemühte sich, die Eigenschaften des in Weingeist gelösten grünen Färbestoffes genauer kennen zu lernen, und bezeichnet ihn mit dem Namen Satzmehl *(fécule)*.

Link[6]) unterscheidet die übrigen körnigen Gebilde des Zellinhaltes, z. B. das Amylum, genau von dem grünen Farbstoffe,

---

[1]) Über die vegetabilische Ökonomie, in Pfaff und Friedländer's französischen Annalen, Heft III, p. 124 und Heft IV, p. 40.

[2]) Anleitung zur Kenntniss der Gewächse. In Briefen. Erste Sammlung. Halle 1804, p. 90, 99 u. s. f., Taf. I, Fig. 4; Taf. II, Fig. 2.

[3]) Vom inwendigen Bau der Gewächse, Göttingen 1806, pag. 2 u. s. f.

[4]) De sedibus materiarum immediatis in plantis, 1806, pag. 69, 70 u. a. O.

[5]) Herbmstädt's Archiv IV, pag. 146—164.

[6]) Grundlehren der Anat. und Physiol. der Pflanzen, Göttingen 1817, pag. 36.

und nennt ihn einen harzigen Stoff. Er kommt nach ihm entweder in Form einer schmierigen körnigen Masse, und in Form von Bläschen, oder auch als dichter Überzug der inneren Zellwände vor.

Moldenhawer[1]) leitet die grünen Saftkügelchen von einer Gerinnung des Zellsaftes ab, spricht sich aber über ihre nähere Beschaffenheit nicht weiter aus.

Kieser[2]) beschreibt das Blattgrün als Körner, die sich vom Amylum durch ihre geringere Grösse unterscheiden. Später[3]) bezeichnet er es als eine in kleinen unregelmässigen Klümpchen zusammengehäufte Materie, die sich an den inneren Wänden der Zellen unregelmässig zerstreut findet. Auch die Entfärbung der alkoholischen Auflösung des grünen Pflanzenfarbstoffes im Lichte ist ihm nicht unbekannt.

G. R. Treviranus[4]) erkannte schon, dass die grünen Farbekörner aus einer Substanz bestehen (er nannte sie Eiweiss). welcher die grüne Materie blos beigemischt sei.

Pelletier und Caventu[5]) untersuchten den grünen Farbstoff in chemischer Beziehung, und gaben ihm den Namen Chlorophyll, Blattgrün.

Dutrochet[6]) glaubte, dass die Chlorophyllkörner den Nervenkügelchen der Thiere analog, die Nervensubstanz der Pflanzen bilden, indem Säuren und Alkalien auf sie eben so reagiren wie auf Nerven.

Schübler[7]) theilte die Pflanzenfarben in eine oxydirte und desoxydirte Reihe, und war der Ansicht, dass sich alle Pflanzenfarben aus dem Chlorophyll durch Oxydation und Desoxydation bilden, indem er fand, dass die Tincturen blauer und rother Blüthen durch Säuren geröthet (oxydirt), durch Alkalien grün gefärbt (desoxydirt) werden.

---

1) Beiträge zur Anatomie der Pflanzen, Kiel 1812, pag. 109.

2) Mémoires sur l'organisation des plantes, 1812, pag. 52.

3) Elemente der Phytonomie, Jena 1815, pag. 50.

4) Biologie, 1814, tom. IV, pag. 95.

5) Journal de pharm., 1817, tom. III, pag. 486 und Ann. de Clem. IX, 1818, p. 194.

6) Recherches sur la structure intime des anim. et des veget. 1824.

7) Untersuchungen über die Farben der Blüthen. Diss. des C. A. Frank, Tübingen 1825.

Turpin[1]) erklärt die Chlorophyllkörner gleich den Stärkemehlkörnern für Bläschen, die aus der Wandung der älteren Zellen hervorwachsend mit der Wand der Mutterzelle durch eine Nabelschnur verbunden seien, vertheidigt Sprengel's Ansicht, dass durch ihre Vergrösserung neue Zellen entstehen, und nannte diese Bläschen *Globuline verte.* Die grüne Färbung dieser Bläschen beruht nach ihm nicht in der Wandung, sondern im gefärbten Inhalte derselben.

Durch Macaire Princep's[2]) Untersuchungen schien Schübler's Ansicht eine mächtige Stütze zu erhalten, indem er fand, dass das Chlorophyll durch Behandlung mit Säuren und dadurch erfolgte Oxydation zuerst gelb, dann roth gefärbt werde, und dieses oxydirteChlorophyll sollte sich durch Alkalien wieder in grünes (desoxydirtes) zurückführen lassen.

A. P. de Candolle[3]) schlug auf Grundlage der Untersuchungen Macaire's, dass nämlich aus dem Chlorophyll alle übrigen Pflanzenfarben entstehen, der Symmetrie mit dem Worte *faecula* wegen (womit man alle körnigen Gebilde des Zellenhaltes bezeichnete, die grünen Körner aber *faecula virides* nannte), statt des Ausdruckes Chlorophyll die Bezeichnung desselben mit dem Worte Chromela vor.

Meyen[4]) erklärt die grünen Zellsaftbläschen für kleine runde Zellchen im Innern der grösseren Zellen, wo sie gewöhnlich ohne alle Ordnung, und nur äusserst selten in einer gewissen Ordnung gelagert sind, meist den Zellwänden anliegen und oftmals im geringen Grade befestiget scheinen.

Sehr bezeichnend für den Werth der Untersuchungen Meyen's sind die fabelhaften Erscheinungen, welche dieser phantasiereiche Forscher an den Amylumkörnern in den grün gefärbten Bändern von *Spirogyra* beobachtete[5]), indem sie sich entweder zu einem *Protococcus viridis*, oder zu einem der Monas *Lens* ähnlichen oder

---

[1]) Mémoires du Museum, tom. XIV. Organographie végétale 1827.

[2]) Mémoires de la société de physique et d'histoire naturelle de Génève, tom. IV, 1828, pag. 43, 49.

[3]) Orgonographie végétale, Paris 1827, pag. 18—19.

[4]) Anatomisch-physiologische Untersuchungen über den Inhalt der Pflanzenzellen, Berlin 1828, pag. 24, 27.

[5]) Über das Genus *Spirogyra* Lk. etc. Linnaea, II. B., pag. 425 — 426 und a. o. O. pag. 33 — 35.

vielleicht gar gleichen Geschöpfe entwickeln sollen. Eben so kann man nach diesem umsichtigen Forscher bei verschiedenen *Cactus-* und *Cucurbita*-Arten eine solche Umwandlung der Zellsaftbläschen in Infusorien beobachten. Auch die Chlorophyllbläschen von *Vallisneria spiralis* sind nach Meyen, obgleich sie keine thierische Natur besitzen, mit einer denselben als Reservenahrung dienenden Atmosphäre umgeben [1]. — Von der Bläschennatur der Chlorophyllkörner aber kann man sich nach Mey'en leicht überzeugen [2], wenn man zuerst den grünen Farbstoff mit Weingeist auszieht und die rückständigen Kügelchen mit Jod behandelt, wo man dann deutlich sehe, dass das Innere derselben hohl sei (!).

Agardh [3]) beschreibt den organischen Körnerstoff (Chlorophylle) als aus Bläschen bestehend, deren Membran sich von der Zellmembran nur dadurch unterscheidet, dass sie rudimentär und unentwickelt ist.

Brewster [4]) zeigte, dass die grüne Farbe der Pflanzen eine Absorptionsfarbe sei, indem alle Strahlenarten von der Chlorophylllösung (also auch dem körnigen Chlorophyll) mehr absorbirt werden, als das Grün. Auch entdeckte Brewster die innere Dispersion des Chlorophylls, die aber erst durch G. S. Stocke's [5]) Untersuchungen ihre weitgreifende Erklärung fand.

Mirbel [6]) bezeichnet in einer späteren Zeit die Chlorophyllkörner als kleine, an den Zellwänden angeheftete Kügelchen *(spérioles)*; durch Ausziehen derselben in Weingeist, wodurch ihr grüner Inhalt aufgelöst wird, überzeuge man sich sehr deutlich von ihrer Bläschennatur.

J. Röper [7]) hält es für wahrscheinlich, dass die grüne Färbung nicht immer durch Körnchen hervorgebracht werde, sondern dass

---

1) Nov. octa. Acad. C. L. C., tom. VIII, vol. II, pag. 856.

2) Phytotomie, Berlin 1830, pag. 149.

3) Lehrb. der Botanik, aus dem Schwedischen übersetzt von Meyen, Kopenhagen 1831, pag. 89.

4) On the coleurs of natural. in Edinb. transact. Vol. XII, 1834, pag. 538—545.

5) Über die Veränderung der Brechbarkeit des Lichtes. Aus dem Engl. (Phil. tranact. f. 1852, pag. 463 etc.) übersetzt in Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie, Ergänzungsband IV, 1854, pag. 178 u. s. f.

6) Recherches anatomiques et physiologiques sur le Marchantia polymorpha. Nouvelles Annales du Museum d'historire naturelle 1833, tom. I, pag. 99.

7) Übersetzung von De Candolle's Pflanzen-Physiologie, tom. I, Stuttgart und Tübingen 1833, pag. 354.

oft ein durchsichtiger homogener Saft die Zellen färbe, da er in manchen Fällen selbst bei den stärksten Vergrösserungen keine Spur von Körnchen oder anderen festen Theilchen finden konnte.

Raspail[1]) vergleicht die Chlorophyllkörner mit den Amylumkörnern, indem er beobachtete, dass in den Samenlappen von *Acer platanoides* das Amylum mit einem grünen Farbstoffe umgeben sei, betrachtet sie aber als Bläschen, bestehend aus einer löslichen gummösen Substanz und einer unlöslichen Membran, und gibt an, dass sie durch eine Nabelschnur mit der Zellwand befestigt seien.

L. C. Treviranus[2]) beschreibt das Chlorophyll als eine hellgrüne, sehr durchscheinende, der inneren Oberfläche unverletzter Zellen anhängende Gallerte, in welcher die grünen Kügelchen (ein veränderter Zustand derselben) eingebettet seien. Wo eine Zerreissung der Zellhaut stattgefunden, trete diese Gallerte langsam aus, verliere durch Einwirkung der Luft, einer Säure oder eines Salzes ihre Flüssigkeit, und ziehe sich in einen kleinen Raum zusammen. Es scheint ihm nicht wahrscheinlich, dass man durch das Mikroskop entscheiden könne, ob der grüne Farbstoff hohle und solide Theilchen bilde.

Clamor Marquart[3]) leugnet die Existenz einer oxydirten und desoxydirten Farbenreihe. Nach ihm gibt es nur zwei Blumenfarben, das Anthokyan und Anthoxanthin. Ersteres blau, durch Säuren roth, durch Alkalien grün werdend, extractivstoffiger Art; letzteres gelb, weniger veränderlich, harziger Natur. — Beide diese Farben entstehen aus dem Chlorophyll durch den Vegetationsprocess und zwar erstere durch Entziehung von Wasser oder dessen Elementen, letztere durch Aufnahme von Wasser. Diese Ansicht werde chemisch unterstützt durch das Verhalten des Chlorophylls zu Wasser, wodurch es gelb wird (durch Wasseraufnahme), und zu Schwefelsäure, welche es blau färbt (durch Wasserentziehung).

Meyen[4]) gibt an, bei vielen Wassergewächsen, z. B. *Zannichellia*, *Vallisneria* und bei einigen saftigen Landpflanzen an den

[1]) Nouveau Sstéme de Chemie organique, 1832, pag. 77.

[2]) Physiologie der Gewächse, tom. I, Bonn 1835, pag. 42—45.

[3]) Die Farben der Blüthen. Bonn 1835.

[4]) Nouv. observat. sur la circulation de suc cellulaire, Ann. des scienc. nat. 1855, pag. 260—261.

dem Lichte ausgesetzten Theilen eine Umwandlung der Amylumkörner in den grün färbenden Stoff beobachtet zu haben, und er erklärt seine frühere Ansicht, dass die grünen Zellsaftkügelchen Bläschen seien, für unrichtig, beschreibt sie hingegen als Kügelchen, die eine halb erhärtete Masse (vielleicht Pflanzenleim, oder erhärtetes Eiweiss) zur Basis haben, welche durch das Chlorophyll völlig durchdrungen werde [1]. Er gibt an, dass man in den elliptischen Chlorophyllkügelchen alter Cactus-Stämme nicht selten noch zwei kleinere Kügelchen von dunklerer Farbe antreffe. Bisweilen, besonders in der verticalen Zellschicht der Blätter, komme das Chlorophyll in grünen Massen vor, die meist die ganze innere Zellwand auskleiden.

Link [2]) verharrt bei seiner früheren Ansicht, dass der grüne Farbstoff meist in Bläschen eingeschlossen sei, ohne anzugeben, wie er sich von der Natur dieser Bläschen unterrichtet habe. Diese Bläschen sind nach ihm öfters zusammengesetzt, so dass sich kleinere in grösseren finden. Seltener soll sich das Chlorophyll ohne Bläschen finden, u. z. in den Blüthen, die in der Jugend grün gefärbt sind, später aber eine andere Farbe annehmen. Es scheint ihm daher nicht wahrscheinlich, dass die Bläschen den grünen Farbstoff bereiten, sondern dass die Bläschen vielmehr in dem grünen Stoffe gebildet werden.

v. Mohl [3]) unterscheidet in seiner, in dieser Beziehung Epoche machenden Abhandlung über die anatomischen Verhältnisse des Chlorophylls zwei Formen desselben, geformtes und ungeformtes. Letzteres komme als krümmliche Masse vor, die häufig einen Überzug auf der inneren Zellwandung bilde, z. B. bei vielen Algen. Das geformte Chlorophyll, die Gestalt von Körnern besitzend, sei viel häufiger als das formlose, komme aber bei Phanerogamen, z. B. *Sedum*, *Sempervivum* etc. sehr häufig in den Spaltöffnungszellen der Epidermis mit diesem in derselben Zelle vor.

Die Chlorophyllkörner hängen nach Mohl in der Regel an der Zellenwand an, doch sei diese Verwachsung, wenn man das Anhängen schon so nennen will, eine äusserst lose; bisweilen schwimmen

---

1) Neues System der Pflanzenphysiologie, 1. Band, Berlin 1837, pag. 190, 200, 206.

2) Elemente philosoph. botanic. edit. II, Berlin 1837, pag. 123, 143—145.

3) Untersuchungen über die anatomischen Verhältnisse des Chlorophylls. Diss. 1837. Vermischte Schriften 1845, pag. 352.

sie jedoch frei im Zellsafte, seltener liegen sie in der Mitte der Zelle zu Haufen vereinigt.

v. Mohl unterscheidet zwischen Körnern, die im Chlorophyll liegen, und zwischen Chlorophyllkörnern, und versteht unter den ersteren Kügelchen, welche ohne sichtbare eigene Hülle im Chlorophyll regelmässig oder unregelmässig eingebettet sind, und sich durch Jod als Amylumkörner erweisen. Die Chlorophyllkörner selbst aber zerfallen nach ihm:

1. in solche, die ein Amylumkorn enthalten,

2. die mehre Amylumkörner enthalten, welche aber wegen der durch Jod braun werdenden Hülle durch dieses Reagens häufig nur violett gefärbt werden;

3. Chlorophyllkörner mit zahlreichen kleinen Amylumkörnern, deren blaue Färbung mit Jod, obgleich oft schwer, doch immer mit Sicherheit zu erkennen ist;

4. Chlorophyllkörner, die in der Regel ziemlich gross, aber wenig scharf begrenzt sind und eine Menge sehr kleiner Körnchen enthalten, die durch Jod tief braungelb gefärbt werden, dessenungeachtet aber als Amylumkörner anzusehen sind.

Nach Schleiden[1]) ist das Chlorophyll immer eine homogene, wachsartige Masse, die die Zellwände, das Stärkemehl und eine andere Art von Körnern, welche der Stärke ähnlich, aber durch Jod braun gefärbt werden, überzieht, und sich leicht durch Alkohol entfernen lässt. Die Existenz von sogenannten Chlorophyllkörnern und Zellsaftbläschen ist nach ihm gänzlich zu bezweifeln.

Treviranus[2]) hält Mohl's Ansicht über die anatomische Beschaffenheit der Chlorophyllkörner für die Einfachheit der Natur etwas zu künstlich. Er zweifelt, ob man Alles, was durch Jod blau gefärbt wird, für Amylum halten müsse, zumal das, was durch heisses Wasser und Kochen nicht anschwillt, wie es nach ihm bei den Chlorophyllkörnern der Fall ist. — In Rücksicht dessen, dass das Volumen der Chlorophyllkörner nicht vermindert wird, nachdem ihnen durch Alkohol und Äther die grüne Materie entzogen ist, dass dagegen dadurch ihre Durchsichtigkeit sich vermehrt, räumt er der Ansicht der übrigen Anatomen, dass die grüne Materie das Innere der grünen

[1]) Beiträge zur Kenntniss der Ceratophylleen, Linnea II. Band, 1837, pag. 531.

[2]) L. C. Treviranus, Physiologie der Gewächse, 2. Band, 1838, pag. 50—55.

Körper bilde, den Vorzug vor der ein, dass sie deren äussere Hülle ausmache. Im Übrigen bleibt er aber bei seiner früheren Ansicht.

Eine genauere Untersuchung des Chlorophylls in chemischer Beziehung wurde von Berzelius[1]) geliefert. Er gewann das Chlorophyll aus der alkoholischen Lösung durch Eindampfen derselben. Der Rückstand wurde mit concentrirter Schwefelsäure (grün) und Salzsäure (smaragdgrün) gelöst und daraus mit Wasser niedergeschlagen. Dieses so gereinigte Chlorophyll ist unlöslich in Wasser, wenig löslich in Alkohol und Äther, woraus es durch Essigsäure und Blei wieder gefällt werden kann. Von kohlensauren ätzenden Alkalien wird es mit schöner grasgrüner Farbe grösstentheils gelöst und kann aus dieser Lösung durch Übersättigung derselben mit Essigsäure in Form von grossen, beim Durchsehen schön smaragdgrün erscheinenden Flocken wieder gewonnen werden. Aus der Ammoniak-Verbindung wird es beim Verdunsten unverändert gefällt. Aus der smaragdgrünen Lösung in Salzsäure kann man das Chlorophyll durch Verdampfen bei gelinder Wärme oder durch Zusatz von kohlensaurem Kalk wieder unverändert erhalten.

Bei der Auflösung in Salzsäure hinterlässt das Blattgrün eine geringe Portion einer blassgelben Materie. Diesen unlöslichen Rückstand nennt Berzelius, da er sich in den blattgrünen frischen Blättern nur in sehr geringer Menge findet und vorzüglich erst wenn das Chlorophyll zersetzt wird und die Blätter gelb werden zum Vorschein kommt, Xanthophyll, Blattgelb.

Das reine Chlorophyll ist unschmelzbar bei 200° C., verbindet sich mit Basen, färbt die mit Alaun gebeizten Wollzeuge und gibt unzweifelhafte Beweise von Oxydation und Reduction[2]).

Berzelius unterscheidet drei Modificationen des Chlorophylls: das der frischen, das der trockenen, und das der dunkel gefärbten Blätter, die sich aber in ihrem chemischen Verhalten nicht wesentlich unterscheiden. Er überzeugte sich, dass das Gelbwerden der alkoholischen Chlorophylllösung im Lichte nicht von Xanthophyll, sondern von einer im Wasser löslichen Substanz herrühre.

Mulder[3]) suchte zu zeigen dass das, was die Chemiker gewöhnlich unter dem Namen Chlorophyll beschreiben, nichts als ein

---

[1]) Compt. rendus 1838, N. 19.

[2]) Siehe hierüber auch Chevreul, J. de Pharm. 1844, pag. 212.

[3]) Natuur en Scheikundig Archief, D. II. p. 1, en Nat. Bydragen, D. VII, S. 1, p. 82.

Gemenge von Wachs und einem grünen Farbstoffe sei, die, obgleich ihrer chemischen Natur nach wesentlich verschieden, doch in einem genetischen Zusammenhange stehen. Er gibt [1]) es als eine ihm durch das Auftreten eines gelben Stoffes in salzsaurer Lösung des reinen Chlorophylls (der offenbar aus dem reinen Blattgrün durch Chlor gebildet sein müsse) klar gewordene Thatsache an, dass das Chlorophyll auch in der Pflanze unter dem Einflusse desoxydirender Substanzen in Wachs verwandelt werden könne, und dass auch auf ähnliche Weise die herbstliche Färbung der Blätter entstehe, stellt es aber als eine erwiesene Thatsache hin, dass sich aus Amylum unter Einfluss des Lichtes der Hauptbestandtheil des Chlorophylls, Wachs nämlich, entwickle. Auf diese Grundlagen hin stellt er nun die wichtige Behauptung auf, dass die Pflanzen nicht Sauerstoff ausathmen, weil sie grün sind, sondern weil sie grün werden, indem bei der Desoxydation des Amylums zu Wachs immer Oxygen frei werde, von dem sogar ein Theil verwendet würde, um das überall vorhandene farblose Chlorophyll grün zu färben.

Nägeli [2]) erklärt die Chlorophyllkörner für Bläschen, und gibt an, dass man sehr häufig bei den Cryptogamen und in günstigen Fällen auch bei den Phanerogamen sehr deutlich an ihnen eine weisse, den grünen Inhalt umschliessende Membran erkenne, die sich durch Nichts von der Zellmembran unterscheide. Später nimmt er jedoch die Ansicht, dass sie gleich der Zellmembran aus Cellulose bestehe, als irrig zurück [3]). Auch eine Theilung der Chlorophyllbläschen behauptet er mit Sicherheit beobachtet zu haben.

Der Inhalt dieser Chlorophyllbläschen besteht nach Nägeli ausser dem grünen Farbstoffe in der Regel aus Amylum, selten hingegen aus Körnern, welche sich durch Jod entweder gar nicht oder nur gelb färben; er hält sie für der Stärke analoge, der Gallerte und dem Inulin sich nähernde Stoffe.

Schleiden [4]) gibt nicht zu, dass das Chlorophyll je in Form von Bläschen vorkomme, sondern es überzieht nach ihm den körnigen

---

[1]) Versuch einer allgemeinen physiol. Chemie, Braunschweig 1844—51, pag. 283 — 289 — 297.

[2]) Nägeli, Zeitschrift für wissenschaftliche Botanik, III. Heft, 1846, pag. 110 u. s. f.

[3]) Systematische Übersicht der Erscheinungen im Pflanzenreich, 1853, pag. 16.

[4]) Grundzüge der wissenschaftlichen Botanik, 3. Aufl. 1849, I. B., pag. 196.

Inhalt der Zelle, oft Stärke, aber eben so oft auch andere Stoffe, oder kleidet die Zelle entweder gleichförmig, oder in spiraligen Bändern aus.

Göppert und Cohn[1]) schliessen aus dem Verhalten der Chlorophyllkügelchen von *Nitella flexilis* in Wasser, wo sie ihre polyedrische Gestalt verlieren, lichter grün, durchsichtiger, schärfer begrenzt und um das Vierfache ihres Volumens vergrössert erscheinen, endlich aber platzen und die eingeschlossenen Körnchen heraustreten lassen, dass sie zarte, aus einer glashellen, in Wasser aufschwellenden Membran, einem grünen flüssigen Inhalte und mehreren festen Körnern bestehende Zellsaftbläschen seien.

v. Mohl[2]) unterscheidet in seiner neuesten Arbeit über diesen Gegenstand zwei Arten Chlorophyllkörner, die aber durch viele Mittelstufen in einander übergehen.

Die Chlorophyllkörner der einen Art seien kleiner, polyedrisch an die innere Zellwand angeheftet, und da diese polyedrische Gestalt der Chlorophyllkörner beobachtet werde auch wenn sie sich nicht berühren, so müsse man annehmen dass die Körner in eine, durch das Mikroskop nicht immer erkennbare homogene Substanz eingebettet seien.

Die Veränderung, welche sie im Wasser erleiden, finde durch das Verhalten des Chlorophylls von *Zygnema* etc. in Wasser seine Erklärung, lasse aber durchaus nicht auf eine Bläschennatur derselben schliessen. Durchschneide man eine Zelle von *Zygnema* quer unter Wasser, so dass dieses unbehindert in die Zelle eintreten kann, so schwellen die in unmittelbare Berührung mit dem Wasser gebrachten Bänder an und treiben sich an rein zufälligen Stellen zu verschieden gestalteten Massen auf, die anfangs grün sind, bis später aus einer homogenen schleimigen Masse gebildete und mit Wasser gefüllte Blasen hervorbrechen. — Es unterliegt nach Mohl keinem Zweifel, dass die Blasen aus dem Innern des Bandes hervorbrechen und die grüne, nur bis auf einen gewissen Grad sich ausdehnende Substanz-

---

[1]) Über die Rotation des Zellinhaltes in *Nitella flexilis*, botan. Zeitung 1849, 38. Stück, pag. 681—684.

[2]) Über den Bau des Chlorophylls, botan. Zeitung 1855, 6. und 7. Stück, pag. 89—99 und 105—115.

zerrissen und auf die Seite geschoben werde, da von einer auf der Oberfläche des Bandes liegenden Membran keine Spur zu entdecken ist. Ganz ähnlich verhält sich nach Mohl die Sache bei dieser Art von Chlorophyllkörnern, für die er seine frühere Ansicht, dass die kleinen Körnchen derselben Amylum seien, als irrig erklärt, indem sie sich, wie ihm bessere Instrumente zeigen, gegen Jod ganz wie Protoblasmakörnchen verhalten.

Die Chlorophyllkörner der zweiten Art unterscheiden sich von den ersten durch ihre Grösse, durch ihre Unveränderlichkeit im Wasser und durch die Unterlage, die von einem oder mehreren Amylumkörnern gebildet wird. Die grüne Hülle erweise sich als eine gelatinöse, im Wasser nicht merklich aufquellende, ihrer ganzen Dicke nach grün gefärbte Masse, mit hinreichender Festigkeit, um ihre Gestalt beizubehalten, wenn es zufälliger Weise durch das Messer vom Amylumkerne abgelöst, oder von dem durch eine Säure zum Schwellen gebrachten Amylumkorne durchbrochen wurde. Von einer Membran sei aber in keiner der besagten Formen eine Spur zu entdecken.

Dieser kurze Überblick über die Literatur des Chlorophylls zeigt uns zur Genüge, dass wir über den Bau und über die Natur desselben, das ausgenommen, was durch die exacten Fortschritte der Physik seine Erklärung gefunden hat, noch völlig im Ungewissen sind. Wenn ich es im Folgenden wage, in einem so schwierigen Gegenstande meine Kräfte zu prüfen, so danke ich die Ermöglichung dazu nur dem Rathe und der thätigen Beihilfe meiner hochverehrten Lehrer, Prof. Unger und Fenzl, welchen hier auch meinen tiefgefühlten Dank auszusprechen ich nicht unterlassen kann.

Die Darstellung meiner Untersuchungen knüpfe ich an die auf Grundlage der angeführten Literatur jüngst ausgesprochenen Ansichten von Schacht und Unger.

Was nun zuerst den Begriff des Chlorophylls anlangt, so ist er bisher von den Chemikern und Phytotomen gewöhnlich verschieden aufgefasst worden. Die Ersteren bezeichnen mit dem Ausdrucke Blattgrün den in Weingeist und Äther löslichen Farbstoff grüner Pflanzentheile, Letztere hingegen verstehen darunter die grün gefärbten Bestandtheile des Zellinhaltes und unterscheiden selbe in geformte und formlose.

Schacht [1]) nennt in seinem neuesten Werke dasjenige Chlorophyll formlos, welches in durch längere Zeit der Einwirkung des Lichtes ausgesetzten Kartoffelknollen in der unterhalb der Schale befindlichen Zellschicht auftritt und bezeichnet die grünen Bänder, Häute und Kügelchen als geformt.

Setzt man frische oder selbst Jahre alte Kartoffelknollen der Einwirkung des Lichtes aus [2]), so sieht man im Protoplasma zuerst grüne Partien erscheinen, in welchen die Körnchen, die in der unter dem Periderma befindlichen Schichte (besonders bei älteren Knollen) den alleinigen Bestandtheil der Zellen ausmachen, eingebettet sind. In den tieferen Schichten dagegen werden die Amylumkörner von derselben eingehüllt. Behandelt man ein solches Präparat mit Äther oder Alkohol, so bleiben die entfärbten durch Jod braun werdenden Flocken mit den in sie eingestreuten Körnchen zurück, während in den tieferen Schichten Schacht's geformtes Chlorophyll Chlorophyllkörner bildet, die aus dem Kern (Amylum) und der entfärbten Hülle desselben gebildet sind.

Ganz ähnlich verhält sich die Sache in dem unteren Theile ausgebildeter Blätter von *Bilbergia nudicaulis*, nur fand ich die grün gefärbte Substanz ursprünglich seltener im Zellsafte suspendirt, sondern bei seinem ersten Auftritte meist schon als Überzug über die einzelnen grossen Amylumkörner. Es ist wohl keinem Zweifel unterworfen, dass diese gallertige Masse mit dem grünen in Weingeist löslichen Farbstoffe im genetischen Zusammenhange steht und nothwendig mit demselben verbunden ist. Dessenungeachtet aber ist sie streng von diesem, der unter dem Mikroskope nur durch seine grüne Farbe, nicht aber durch seine räumlichen Verhältnisse erkennbar ist, wohl zu unterscheiden.

Ich verstehe im Folgenden unter Chlorophyll nur diesen grünen Farbstoff, der an sich nicht weiter Gegenstand anatomischer

---

[1]) Lehrbuch der Anatomie und Physiologie der Gewächse, I. Theil, 1856, pag. 64.

[2]) Wird ein Kartoffelknollen in der Mitte durchgeschnitten, die Schnittfläche, um die Austrocknung zu verhüten, mit Gummi überzogen und mittelst einer Glasplatte bedeckt der Einwirkung des Lichtes so ausgesetzt, dass die Glasplatte nach oben gekehrt ist, so findet man nach mehreren Monaten unter der Gummischichte eine nicht unbeträchtliche Peridermabildung, während in der unter dieser liegenden Zellschichte sämmtliche Amylumkörner in Chlorophyllkörner umgewandelt sind.

Untersuchung sein kann, nenne die gallertige, von diesem durchdrungene Masse den Träger (Chlorophor), und bezeichne beide mit dem Ausdrucke grüne Substanz (*Materia viridis*).

Es handelt sich also nicht darum, wie sich das Chlorophyll, sondern wie sich der Träger desselben bei den grün werdenden Kartoffelknollen in den unter dem Periderma liegenden Zellen von den tiefer gelegenen amylumhaltigen, wo er Chlorophyllkörner bildet und von den grünen Bändern, z. B. in *Zygnema* (Schacht's geformtem Chlorophyll), unterscheidet. — Behandelt man letztgenannte Pflanze mit Weingeist, so wird ausser der Entfärbung nichts wesentlich geändert. Die entfärbten Bänder ziehen sich nicht von der Zellwand zurück, und die in selbe eingestreuten Amylumkörner treten dadurch, dass sich die Unterlage enger um sie anschliesst und gleichsam zusammenschrumpft, deutlicher hervor.

Bei Behandlung mit Schwefelsäure quellen die Amylumkörner auf, und es zeigt sich entweder jedes einzeln oder mehrere derselben gemeinschaftlich von der grünen Substanz eingeschlossen, und diese Hülle zerreisst selbst bei der stärksten Anschwellung des Amylumkornes nicht. Operirt man mit mehr diluirter Schwefelsäure, so dass die sich vergrössernden Amylumkörner noch einen freien Raum zwischen sich lassen, und setzt dann verdünnte Jodlösung zu, so sieht man auch die Zwischenräume eine violette Farbe annehmen, zum Beweise, dass das aufgequollene noch nicht in Zucker übergeführte Amylum die gallertige Hülle durchdrungen hat. Lässt man das Präparat längere Zeit in Schwefelsäure liegen, so erhalten die Bänder fast ganz ihre frühere Gestalt wieder, die aufgequollen gewesenen Amylumkörner erscheinen kleiner, ihre Hülle zieht sich enger um sie zusammen, und auch die Lage der Bänder wird nicht verändert, wenn die Einwirkung der Säure selbst mehrere Wochen dauert. Es werden nämlich die Amylumkörner nicht ganz durch Schwefelsäure aufgelöst, sondern es befindet sich in jedem Amylumkorn ein centrales Körperchen, welches in kochendem Wasser und mässig concentrirter Schwefelsäure sich ebenso wenig als in verdünnter Kalilauge verändert, obgleich letztere nach längerer Einwirkung die Bänder zerstört.

Zerschneidet man eine Zelle im Wasser unter dem Mikroskope, so schwellen die Bänder an, die Contouren derselben bleiben aber meist scharf begrenzt, und es bilden sich an verschiedenen Stellen

lichtgefärbte kugelähnliche Fortsätze (Vocuolen), wie sie von Mohl[1]) sehr genau beschrieben und auch von Nägeli[2]) beobachtet wurden.

Ganz Ähnliches beobachtet man bei Chlorophyllkörnern, die nur ein Amylumkorn enthalten, z. B. in oben erwähnten Kartoffelknollen und in den unteren Blatttheilen von *Bilbergia nudicaulis.* Wenn die Amylumkörner grün zu werden beginnen, so ist die Hülle, welcher sie diese Farbenveränderung verdanken, nach aussen nicht scharf begrenzt, sondern umgibt schleierartig das Amylumkorn. Behandelt man solche Chlorophyllkörner mit Alkohol, so zieht sich die grüne Hülle enge um den Kern zusammen, so wie es im ausgebildeten Zustande derselben der Fall ist. Versetzt man sie mit Schwefelsäure, so quillt das Amylumkorn an und die grüne Substanz wird als eine ziemlich feste Haut abgestreift, eine Form, die sie erst durch die in dieser Beziehung ähnlich dem Alkohol auf sie einwirkende Säure (durch Wasserentziehung?) erhalten hat.

Bemerkenswerth und dem Obigen gerade entgegengesetzt ist der Einfluss, den das Wasser bei unmittelbarer Berührung auf diese jugendlichen Chlorophyllkörner ausübt, indem die ohnehin nicht scharf umgrenzte Hülle des Amylumkornes immer mehr und mehr aufgelockert wird, so dass bei längerer Einwirkung desselben der Inhalt der Zellen von der vertheilten grünen Substanz ganz gefärbt, die Amylumkörner von ihrer Hülle aber entblösst erscheinen.

Ist das Chlorophyllkorn schon älter und unter andauernder Einwirkung des Lichtes noch weiter gereift, so gelingt es bisweilen auf mechanische Weise, besonders wenn man das Präparat vermittelst Starnadeln mit Wasser wäscht, die Amylumkörner aus der grünen Hülle herauszuschälen, und diese bleibt dann oft ganz unverändert zurück.

Dieses alles genau erwogen, glaube ich annehmen zu dürfen, dass das formlose und geformte Chlorophyll, so wie es von Schacht nach dem Vorgange anderer Anatomen angenommen wird, nicht wesentlich oder eigentlich an sich gar nicht verschieden sei, da es sich nur darum handelt, ob die grüne Substanz Gelegenheit hatte sich auf Amylum abzulagern oder nicht. Was die grünen Bänder anbelangt, so ergibt sich wohl klar, dass sie, obgleich der

[1]) Botanische Zeitung, 1855, pag. 97.

[2]) Pflanzenphysiologische Untersuchungen, I. Heft, 1855, pag. 11.

grünen Substanz der Chlorophyllkörner in Allem analog, durch eine ihnen ursprünglich zukommende Form ausgezeichnet sind.

Nach Unger[1]) kommt das Chlorophyll in Form von Bläschen oder im amorphen Zustande: in bandartigen Streifen, in Kugeln zusammengeballt oder als Überzug körniger Bildungen vor. Letztere Form nennt Unger Chlorophyllkörner zum Unterschied von den Chlorophyllbläschen.

Es handelt sich hier also vor allem andern zu untersuchen, ob und welcher Unterschied zwischen Chlorophyllkörnern und Chlorophyllbläschen besteht. Es gibt kaum in der ganzen Pflanzen-Anatomie einen schwierigeren Gegenstand, als die Entscheidung dieser Frage, da dasselbe Bild von den verschiedenen Forschern nach ihren individuellen Ansichten für den ersten Blick so verschieden gedeutet werden kann.

Die Angaben der älteren Botaniker sind in dieser Beziehung nicht zu berücksichtigen, da sie bei dem Gebrauche der Ausdrücke Bläschen und Korn nicht sehr wählerisch zu Werke gehen. Übrigens ergab sich ihr Glaube an die Bläschennatur der Chlorophyllkörner als folgerichtiger Schluss ihrer Ansicht über dieselben überhaupt und aus deren Verhalten im Weingeist. Da sie nämlich mit Alkohol oder Äther digerirt ihre Form nicht wesentlich verändern, ihre grüne Färbung aber verschwindet, so war nichts natürlicher als die rückbleibenden Bestandtheile derselben als Bläschen, in welchen der grüne Farbstoff eingeschlossen war, zu betrachten.

Mit Unrecht nennt man Meyen als den Urheber der Ansicht dass die Chlorophyllkörner Bläschen seien, da er dieselbe in seiner Physiologie (1. Bd. pag. 201) selbst als irrig erklärt hat. Auf die Bläschennatur der Chlorophyllkörner im Sinne der neueren Wissenschaft hat Nägeli zuerst aufmerksam gemacht.

Um in diese Frage näher eingehen zu können, ist es nothwendig, die verschiedenen Chlorophyllkörner hinsichtlich ihrer Bestandtheile genauer zu betrachten. Wir wollen mit der Unterlage der grünen Substanz, dem Kern der Chlorophyllkörner beginnen.

Es gibt Chlorophyllkörner, die ein, solche, die mehre noch deutlich durch Jod zu erkennende Amylumkörner enthalten und endlich solche, bei denen die Natur der Körnchen durch dieses Reagens

[1]) Anatomie und Physiologie der Pflanzen, 1855, pag. 106.

allein nicht mehr zu erkennen ist. Der Umstand, dass diese kleinen, oft molecularen Körnchen durch Jod allein nicht mehr blau gefärbt werden, ist noch durchaus kein Beweis gegen ihre Amylumnatur, denn 1. sind sie von einer durch Jod braun werdenden Hülle umgeben und 2. ist es ja bekannt [1]), dass die chemische Verwandtschaft des Amylum zu Jodtinctur keine grössere als zu irgend einer andern neutralen Flüssigkeit ist und dass die blaue Färbung nicht durch eine chemische Verbindung, sondern blos in Folge mechanischer Mengung erzeugt wird.

Schon Redwood [2]) hatte beobachtet, dass die in einem Mörser mit kaltem Wasser zusammengeriebene Weizenstärke mit Jodtinctur nur theilweise blau gefärbt wird und wurde dadurch zur Annahme geführt, dass dieselbe aus zwei Arten von Stärke, aus der eigentlichen Weizenstärke (dem durch Jod nicht blau gewordenen Antheil) und aus Kartoffelstärke bestehe.

Untersucht man Samen von *Mirabilis Jalappa*, so wird man durch Jod von der Natur der sehr kleinen Körnchen derselben nicht unterrichtet und ich hielt selbes anfänglich auch nicht für Amylum, da ich, ohne von Hartig's Entdeckung zu wissen, dasselbe in sehr vielen Fällen, z. B. *Asparagus*, *Asphodelus*, *Allium* etc. vermisste, obwohl sich die Körner dieser Pflanzen durch ihre Löslichkeit im Wasser unterschieden. Wird hingegen das sehr feinkörnige, in kaltem Wasser unlösliche, durch Jod blos gelb werdende Sameneiweiss in Wasser gekocht, so überzeugt man sich, dass unter diesen Umständen die Jodreaction bei der geringsten Spur von Amylum aus leicht erklärlichen Gründen sehr empfindlich ist. — Wendet man nun dasselbe Verfahren auf Blätter an, die in Weingeist ausgezogen wurden, so wird man sich häufig von der Gegenwart von Amylum überzeugen, wo das Präparat sonst nur die gewöhnliche Jodfarbe annahm, z. B. bei *Menyanthes trifoliata*, *Cochlearia officinalis*, *Aralia trifoliata*, *Sedum Telephium*, und zwar nicht nur in jugendlichen, sondern auch in vollständig ausgebildeten Blättern, bei denen Mohl dasselbe nicht auffinden konnte.

Trotz dieses oft belehrenden Verfahrens wird man doch in gewissen Fällen über die Natur der Körnchen im Ungewissen bleiben oder sie gänzlich verkennen.

---

[1]) Ch. Gerhardt, Lehrbuch d. org. Chemie, 1854.

[2]) Buchner, Repert. (3) 39. Bd., pag. 84.

Um das Verhalten der Chlorophyllkörner im Allgemeinen gegen Alkalien kennen zu lernen, macerirte ich die in Weingeist ausgezogenen Blatttheile in ziemlich concentrirter Kalilauge, und es eröffnete sich mir durch dieses Verfahren eine ganz leichte Weise, um mich von der Natur der Körnchen in den Chlorophyllkörnern zu überzeugen. Untersucht man ein solches Präparat dann unter dem Mikroskope, so lässt sich in den Zellen, sobald es längere Zeit in diesem Ätzmittel gelegen ist (ich untersuchte stets nach 4, 12 bis 48 Stunden und nach mehreren Tagen), gewöhnlich kein Zelleninhalt mehr unterscheiden. Bringt man aber Jod zu, so färbt sich das Präparat in allen obigen Fällen sehr schön violett; es werden violett-blaue Klümpchen sichtbar, die ihrer Zahl nach völlig den Chlorophyllkörnern entsprechen. Die kleinen Amylumkörnchen quellen nämlich in mässig concentrirter Kalilauge auf, ohne gelöst oder weiter verändert zu werden, während nach längerem Liegen in derselben alle anderen Bestandtheile des Zellinhaltes und der Chlorophyllkörner schwinden, wodurch somit alle Bedingungen für eine empfindliche Jodreaction gegeben werden.

Durch diese Art der Behandlung erhielt ich selbst in jenen Fällen gewünschten Aufschluss, in denen mich alle anderen Methoden, die Natur der Körnchen zu erfahren, im Stiche liessen; z. B. bei *Elymus arenarius*, bei welcher Pflanze Mohl ebenfalls kein Amylum gefunden hat, während durch die oben angeführte Methode dasselbe nicht nur in den Chlorophyllkörnern junger, sondern auch vollständig entwickelter Blätter nachgewiesen werden kann. Die grösseren Klümpchen aufgequollener Amylumkörnchen findet man in den langgestreckten, die tiefer liegenden Gefässbündel begleitenden Zellen; aber bei sorgfältiger Untersuchung wird man sie in keiner chlorophyllhältigen Zelle vermissen.

Von einem Verhältnisse, wie es von Mohl[1]) angegeben wird, wornach sich in den äusseren Blattschichten Chlorophyllkörner ohne Amylum finden, während die des Mesophylls dagegen Amylum enthalten sollen, konnte ich mich bei keiner Pflanze, auch nicht bei den von ihm angegebenen überzeugen. Finden sich in den Chlorophyllkörnern des Blattparenchyms überhaupt Amylumkörner, so kommt es durch die ganze Dicke desselben vor. Verschiedenheiten zeigen sich

---

[1]) Botanische Zeitung 1855, p. 112.

nur in soferne als die Chlorophyllkörner in den unter der Epidermis liegenden Zellen sehr kleine Körnchen enthalten, die auf Jod nicht mehr reagiren, während dieselben in den Zellen des Mesophylls häufig grösser sind und mit Jod eine deutlich blaue Farbe annehmen.

Auffallend ist die Verschiedenheit, die man in dieser Beziehung bei den sehr nahe stehenden Pflanzen von *Bilbergia nudicaulis* und *Bromelia iridifolia* findet. Letztere Pflanze enthält in den Chlorophyllkörnern aller Theile vollständig ausgebildeter Blätter nur kleine Körnchen, während man bei *Bilbergia nudicaulis* alle möglichen Übergänge findet: oben sehr feinkörnige, in der Mitte drusige und unten nur ein Amylumkorn enthaltende Chlorophyllkörner. Ob nun diese Verhältnisse für alle Individuen derselben Species constant sind, bezweifle ich sehr, indem ich ein Exemplar von *Viscum*, *Sedum Telephium* und *Primula Auricula* besitze, wo die Chlorophyllkörner der Blätter und des Stengels in allen Schichten nur ein sehr grosses Amylumkorn enthalten, während bei diesen Pflanzen der Kern der Chlorophyllkörner sonst immer aus zahlreichen Amylumkörnchen besteht. Ich glaubte anfänglich, dass dies mit dem Standorte der Pflanzen zusammenhänge, habe mich aber durch Untersuchung zahlreicher Blätter verschiedenen Alters von verschiedenen Unterlagen zumal bei *Viscum* überzeugt, dass es nur eine zufällige Erscheinung ist.

Es gibt jedoch Fälle, in welchen man selbst mit dieser Methode bei der grössten Sorgfalt in den Chlorophyllkörnern doch kein Amylum auffinden kann. Die Zellen zeigen nämlich nach der Behandlung mit Kalilauge ebenfalls keinen unterscheidbaren Inhalt; bei Zusatz von Jodtinctur hingegen treten, wenn die Maceration nicht zu lange gedauert hat, die Chlorophyllkörner mit gelber Farbe deutlich hervor. Lässt man aber die Blätter mit derartigen Chlorophyllkörnern längere Zeit in der Kalilösung maceriren, so gelingt es endlich nicht einmal mehr die Chlorophyllkörner mit Jod sichtbar zu machen. Es lässt sich im Allgemeinen nicht sagen, wie lange die Maceration bis zum gänzlichen Verschwinden derselben fortgesetzt werden muss; es hängt dies von der verschiedenen Beschaffenheit der Epidermis und des Blattparenchyms überhaupt ab. Im Allgemeinen schadet ein Mehr nicht; denn enthalten die Chlorophyllkörner auch nur die geringste Spur von Amylum, so bleibt dasselbe selbst nach vierwöchentlichem Liegen in dieser Beize für die Jodreaction noch sehr

empfänglich. In gewissen Fällen ist es sogar nothwendig, die Maceration längere Zeit fortzusetzen, bis Alles, was nicht Amylum, verschwunden ist, wenn man das wirklich vorhandene Amylum nicht übersehen soll, wie z. B. bei *Iris fimbriata*, *Orontium japonicum;* denn eben dadurch, dass der übrige Zelleninhalt durch Kalilauge zerstört wird, lassen sich noch die geringsten Mengen des vorhandenen Amylum erkennen.

Ich zweifle nicht, dass die von Mohl[1]) beschriebenen Verhältnisse hinsichtlich der verschiedenen Zahl und Grösse der Kerne und Körnchen der Chlorophyllkörner in den verschiedenen Zellschichten der Blätter bei den von ihm untersuchten Individuen der beiden letztgenannten Pflanzenspecies vorhanden gewesen sind. In den von mir untersuchten Blättern dieser beiden Pflanzen konnte ich mich ohne Anwendung der Kalilauge von der Gegenwart von Amylum in denselben auf keine Weise überzeugen; macerirt man sie hingegen, nachdem sie in Alkohol ausgezogen waren, mit Kali, so erkennt man in allen Chlorophyllkörnern eine geringe Anzahl der von denselben eingeschlossenen Körnchen als Amylum; das meiste Amylum ist aber immer in den die Gefässbündel begleitenden langgestreckten Zellen enthalten.

Es zeigt sich also, dass es Pflanzen mit Chlorophyllkörnern gibt, deren Körnchen theilweise Amylum sind, theilweise eine andere Natur besitzen, und diese bilden die natürliche Zwischenstufe von jenen Chlorophyllkörnern, deren Körnchen entweder sämmtlich Amylum oder sämmtlich nicht Amylum sind. Letztere Formen sind jedoch im Ganzen selten und bei weitem nicht so häufig als Schleiden glaubt. Pflanzen, bei welchen ich in keinem Stadium ihrer Entwickelung Amylum auffinden konnte, sind: *Asphodelus luteus*, *Allium fistulosum*, *Orchis militaris*, *Lactuca sativa*. — Obgleich nun zwischen diesen beiden Arten von Chlorophyllkörnern, den amylumhältigen und den amylumlosen, keine scharfe Grenze besteht, sondern selbe in ununterbrochener Reihenfolge in einander übergehen, ja selbst bei verschiedenen Individuen derselben Species nicht constant sind, sondern von unbekannten, vielleicht zufälligen äusseren Verhältnissen, in denen sie sich befinden, abhängen, so glaube ich dennoch, dass auch in dieser Beziehung ein ganz bestimmtes Gesetz bestehe, indem es für die

[1]) Vermischte Schriften, pag. 356—358.

Ökonomie der Pflanze unmöglich gleichgiltig sein kann, ob sie diesen oder jenen Stoff bildet, ein so grosses Quantum von Amylum besitzt, oder dessen ermangelt; die Ansicht aber, dass die Amylumkörnchen der jugendlichen Chlorophyllkörner später durch andere Körnchen ersetzt werden, dürfte wohl irrig sein und darauf beruhen, dass sie nach den bisher angewendeten Methoden in dem ausgebildeten Zustande derselben oft schwerer erkannt werden als in dem jugendlichen. Das Chlorophyll ist oft schon ziemlich verändert, während sich in denselben Zellen das Amylum noch nachweisen lässt.

Interessant ist, das die Spaltöffnungszellen in den Fällen, wo die Chlorophyllkörner des übrigen Parenchyms nur sehr wenig oder gar kein Amylum enthalten, in den meisten Fällen schon, nachdem man die Epidermis blos abgezogen oder nach der angegebenen Methode behandelte, mit Jod sehr schön violett-blau gefärbt werden, z. B. *Scilla maritima*. Nur bei *Orchis militaris*, *Allium sativum*, *fistulosum* etc. konnte ich in den Spaltöffnungszellen bisher kein Amylum auffinden.

Die chemische Natur dieser kleinen Nichtamylum-Körnchen muss für jetzt noch dahingestellt bleiben; vielleicht sind sie dem Inulin, vielleicht dem Paramylum [1]) verwandt. Sie sind unlöslich in Wasser, unveränderlich in mässig concentrirter Schwefelsäure. Ein in Weingeist ausgezogenes Blatt von *Lilium Martagon* und *Asphodelus luteus* zeigte selbst nach vierwöchentlicher Behandlung mit dieser Säure die der Form nach fast unveränderten Chlorophyllkörner. Durch längeres Liegen der Blätter in Kalilauge werden die Körnchen zerstört.

Da nun die angegebenen Verhältnisse trotz ihrer Wandelbarkeit im Allgemeinen doch so constant sind, so ist es gewiss nicht unwichtig, jene Pflanzen kennen zu lernen, bei denen sich diese oder jene Formen vorzüglich finden; vielleicht lassen sich auch dann die dazwischenlaufenden Ausnahmsfälle in den verschiedenen Beziehungen auf ihre physiologische Grundursache zurückführen. Meine Untersuchungen in dieser Beziehung sind schon ziemlich umfassend und ich werde sie noch weiter ausdehnen, überzeugt, dass sich aus dem Resultate derselben manche interessante Schlussfolgerung wird ziehen lassen.

---

[1]) Gottlieb, Ann. d. Chem. LXXV, 51.

Wir sind nun auf den Punkt gekommen, um in die Frage ob die Chlorophyllkörner Bläschen sind oder nicht, oder ob dieselben theils in Form von Körnern, theils in Form von Bläschen vorkommen, näher eingehen zu können. — Was nun vorerst die ein einziges Amylumkorn enthaltenden Chlorophyllkörner anbelangt, so habe ich schon oben gezeigt, dass sich dieselben bei unmittelbarer Berührung von Wasser häufig auffallend verändern. Die Berührung mit Wasser muss aber vor allen andern eine unmittelbare sein; denn sehr häufig findet man auf demselben Schnitte Zellen, auf deren Chlorophyllkörner das Wasser gar keinen Einfluss ausübt, während derselbe auf die der nebenliegenden ein sehr bedeutender ist. Ältere Chlorophyllkörner zeigen allerdings im Ganzen eine viel grössere Resistenz als die im jugendlichen Zustande; dessenungeachtet kann man bei sorgfältiger Beobachtung auch hier die besagten Erscheinungen beobachten. Es kommt wohl auch vor, dass die grüne Substanz mancher Chlorophyllkörner, während sie um das im Wasser unveränderliche Amylumkorn beträchtlich anschwillt, dessenungeachtet nach aussen sehr scharfe Contouren behält. Dies schien mir jedoch nur bei älteren Chlorophyllkörnern vorzukommen, und so wie Mohl a. o. a. O. angibt, davon abzuhängen, dass an irgend einer Stelle das Wasser zwischen die grüne Hülle und das Amylumkorn eingedrungen ist. In diesem Falle hat es allerdings oft den Anschein, als ob die grüne Substanz nach aussen von einer Membran anderer Natur umschlossen wäre. Dort aber, wo die grüne Hülle des Amylumkornes aufgelockert und endlich im ganzen Zelleninhalte vertheilt wird, kann von der Gegenwart einer das ganze sogenannte Chlorophyllkorn begrenzenden Membran wohl überhaupt keine Rede sein; durch die zahlreichen Mittelformen aber, die einem aufmerksamen Beobachter nicht entgehen können, lassen sich auch erstere Formen, die sich nur als spätere Stadien dieser erweisen, ohne Annahme einer eigenen Haut ganz genügend erklären, zumal da die gegen Einwirkung des Wassers sehr empfängliche Hülle junger Chlorophyllkörner durch Alkohol und Säuren für diesen Einfluss eben so und noch unempfänglicher wird als die der ausgebildeten Chlorophyllkörner.

Es gelingt nichts leichter, als bei den letztgenannten Chlorophyllkörnern dieser Art die grüne Hülle von dem eingeschlossenen Amylumkorn auf mechanische Weise zu trennen. Dasselbe kann auch dadurch geschehen, dass man durch Schwefelsäure das Amylumkorn

zum Anschwellen bringt. Will man aber auch nur im Allgemeinen von einer Bläschenform dieser Chlorophyllkörner sprechen, ohne in den Begriff des Bläschens im physiologischen Sinne genauer einzugehen, so muss es gelingen, die dieselbe umschliessende Membran von der hautartigen Hülle der grünen Substanz (dem Träger) zu trennen oder als chemisch verschieden darzustellen, was zu bewerkstelligen ich mich aber bisher im Ganzen vergebens bemüht.

Weit auffallender als bei dieser Art der Chlorophyllkörner ist der Einfluss des Wassers bei denjenigen, die mehrere oder sehr zahlreiche kleine Körnchen enthalten. Die Erscheinungen an denselben sind vielfach beobachtet, aber auch vielseitig gedeutet worden. Auch diese Chlorophyllkörner verhalten sich in den verschiedenen Zellen desselben Präparats verschieden, indem sich an denselben nämlich in einigen Zellen selbst nach 24stündigem Liegen im Wasser keine Veränderung zeigt.

Es unterliegt keinem Zweifel, dass die Einwirkung des Wassers auf die Chlorophyllkörner nur in verletzten Zellen stattfindet. Es ist vielleicht gerade nicht nothwendig, obgleich jedenfalls wahrscheinlich, dass die betreffenden Zellen durchschnitten sein müssen, damit dem Wasser ungehinderter Eintritt in die Zelle gestattet sei; es wäre aber auch möglich, dass ein blosser Druck u. s. w., wie dies bei Bereitung des Schnittes nicht zu vermeiden ist, hinreicht, die Zelle zu tödten und die Membran derselben für Wasser permeabler zu machen. Jedenfalls treten aber nachstehende Veränderungen der Chlorophyllkörner im Wasser nur in todten Zellen ein, wie man sich in jenen Fällen überzeugen kann, wo sich die Lebensthätigkeit der Zelle durch auffällige Saftströme kundgibt, z. B. bei *Valisneria*. In jenen Zellen, bei deren Chlorophyllkörnern die Einwirkung des Wassers ersichtlich ist, wird man keine Saftströmung mehr wahrnehmen.

An dieser Art von Chlorophyllkörnern haben Nägeli, Göppert und Cohn ihre Untersuchungen angestellt und aus deren Veränderungen im Wasser den Schluss auf die Bläschennatur derselben oder der Chlorophyllkörner im Allgemeinen gezogen, und in der That beobachtet man an denselben Erscheinungen, die unzweifelhaft eine solche Annahme zu berechtigen scheinen.

Die Veränderungen nun, die diese Chlorophyllkörner im Wasser erleiden, bestehen vorzüglich darin, dass ihr körniger Inhalt im Gegen-

satze zur Umhüllung derselben sehr deutlich hervortritt. Sie werden durchgehends etwas grösser, der Inhalt derselben, anfangs blass, homogen, erscheint intensiver grün, körnig, während die scharf berandeten Contouren derselben die frühere blasse, nun im Gegensatze zum Inhalte mehr in die Augen fallende Färbung beibehalten. Sehr häufig wird die Anschwellung derselben so bedeutend, dass die das Korn begrenzende, vom Chlorophor gebildete Hülle zerreisst, und der körnige, grün gefärbte Inhalt wird herausgetrieben. Die entleerte Hülle schwillt bisweilen noch deutlich an, wird oft im Wasser aufgelockert, und von den entleerten Körnchen gewöhnlich verdeckt, ist sie meist nur undeutlich oder gar nicht mehr zu sehen, wird aber nicht vom Wasser im eigentlichen Sinne aufgelöst.

Es liegt wohl hier scheinbar auf der Hand, diese Chlorophyllkörner für Bläschen zu erklären, zumal da die membranartig erscheinende Hülle oft nach beiden Seiten hin so scharf abgegrenzt ist, wie es z. B. bei *Orchis militaris*, *Plantago lanceolata*, *Calendula officinalis*, *Lactuca sativa* und unzähligen anderen Pflanzen so schön zu sehen ist. Bestärkt wird man in dieser Meinung noch durch das Verhalten der Chlorophyllkörner zahlreicher Pflanzen in Schwefelsäure und noch mehr durch Kochen derselben in Wasser. Bei dieser letztern Behandlung ist es vortheilhaft, obgleich gerade nicht nothwendig, die zu untersuchenden Pflanzentheile früher mit Alkohol und Äther zu entfärben, wodurch manche bei dieser Untersuchung unwesentliche, das Bild nur störende Dinge entfernt werden. Zu diesen Versuchen eignen sich aber nur solche Chlorophyllkörner, deren Kerne Amylum sind, also in Schwefelsäure und kochendem Wasser eine wesentliche Veränderung erfahren, und denen in der Zelle nicht andere in Weingeist und Äther etc. unlösliche körnige Gebilde beigemischt sind. Besonders zu empfehlen sind zu diesen Untersuchungen Blätter junger Pflanzen von *Valeriana Phu*, *Papaver somniferum*, *Plantago lanceolata*, *Calendula officinalis*, die man zudem auch leicht bekommen kann. Kocht man z. B. die Blätter von *Valeriana Phu* vorsichtig in Wasser, so wird man überrascht bei nachheriger Untersuchung derselben jedes Chlorophyllkorn in ein scharf begrenztes Bläschen mit doppelten Contouren verwandelt zu sehen, und es bleibt scheinbar über die Bläschenform dieser Chlorophyllkörner auch nicht der mindeste Zweifel. In dieser Meinung wurde ich noch dadurch bestärkt, dass bei einem Präparat von *Viscum*, das lauter Chlorophyllkörner

mit nur einem Amylumkorn enthielt, bei Zugabe von Schwefelsäure nicht nur das anschwellende Amylumkorn, sondern auch die grüne Substanz aus einer Umhüllung hervorbrach, die so fest war, dass sie ihre frühere Gestalt noch beibehielt und bei Zugabe von Wasser mit Beibehaltung ihrer Form unter dem leise aufgelegten Deckglase fortgerollt wurde. Sie erschien sehr blass und nur an einzelnen Stellen klebten noch Partien der grünen Substanz [1]).

Nach einem solchen Verhalten dieser Art der Chlorophyllkörner möchte man wohl kaum anstehen, der Ansicht Nägeli's, Unger's u. s. w. beizutreten. Verfolgt man aber die Entwickelungsgeschichte der Chlorophyllkörner, so ergibt sich ein ganz anderes Resultat. Dazu eignen sich aber vorzüglich Blätter von *Iris,* Bromeliaceen und vielen anderen Monokotyledonen, wo man an derselben Pflanze, ja an demselben Blatte die verschiedenen Entwickelungsstadien untersuchen kann.

In den untersten noch ungefärbten Blatttheilen dieser Pflanzen (und in der unmittelbar unter dem Periderma liegenden Zellschicht bei Kartoffelknollen, wo das Amylum bereits aufgelöst ist) wird häufig der feste Zellinhalt meist nur von sehr kleinen Körnchen gebildet, deren chemische Natur in dieser Beziehung ziemlich gleichgiltig scheint. Weiterhin vereinigen sich diese Körnchen und sie scheinen durch eine klebrige Substanz zusammengehalten zu werden (davon sind natürlich die Amylumdrusen, die sich als Kern eines Chlorophyllkornes so wie ein einziges Amylumkorn verhalten und eine eigenthümliche Form von Chlorophyllkörnern bilden, ausgeschlossen); gleichzeitig bekommen sie einen Stich ins Grüne. Im weiteren Verlaufe wird der Zusammenhang der Körnchen, die sich anfänglich noch leicht bei Behandlung mit Wasser von einander trennen, ein innigerer und es gelingt schon schwer, die zusammengeballten Körnchen durch Druck oder durch Wasser allein zu isoliren. Es hat sich mittlerweile nämlich um das Körnerhäufchen gleichsam wie um ein einziges Amylumkorn dieselbe grüne Substanz abgelagert, in der auch die

---

[1]) Obgleich ich mich vergebens bemühte, die beschriebene Erscheinung an mehreren Chlorophyllkörnern hervorzurufen, so habe ich mich dessungeachtet sicher nicht getäuscht, glaube aber, dass sie durch meine bald erscheinende Arbeit: Physiologische Untersuchungen über blaue *Passiflora*-Beeren, ihre genügende Erklärung finden wird.

angegebenen Körnchen eingebettet sind. Je kleiner diese sind, desto mehr werden zur Bildung eines Chlorophyllkornes verwendet; sind sie grösser, so entstehen die verschiedenen drusigen Chlorophyllkörner, wie sie z. B. in der Mitte entwickelter Blätter vieler Bromeliaceen, z. B. *Bilbergia nudicaulis* etc., vorkommen.

Die Umhüllung dieser Körnchen ist anfänglich ebenso, wie wenn der Kern von einem einzigen Amylumkorn gebildet wird, ziemlich locker, in Wasser bis zur vollkommenen Vertheilung in der irgendwie verletzten Zelle aufquellbar, verdichtet sich allmählich immer mehr und mehr, wird nach aussen sogar fest, — membranartig und so nach und nach zu dem, was Mohl mit dem Ausdrucke *pellicula* bezeichnet.

Aus den angeführten Thatsachen ergibt sich auch die Ursache des verschiedenen Einflusses des Wassers auf die verschiedenen Chlorophyllkörner. Umhüllt die grüne Substanz nur ein Amylumkorn, so wird sie fast in ihrer ganzen Dicke allmählich eine festere Consistenz erhalten und somit gegen die Einwirkung des Wassers unempfindlicher werden; war diese grüne Hülle jedoch vielleicht zufälliger Weise beträchtlicher um das eine oder das andere Korn, so wird die innere Partie derselben die ihr ursprünglich zukommende Eigenschaft, im Wasser aufzuquellen, behalten, während sich der peripherische Theil derselben membranartig verdickt, und so kann es sein, dass die Chlorophyllkörner desselben Objectes ein ziemlich verschiedenes Verhalten zeigen.

Dass bei körnigen Chlorophyllkörnern die Einwirkung des Wassers eine viel auffälligere ist, und dass dadurch die Umhüllung derselben eine von dem Inhalte so auffallend verschiedene Färbung erhält, beruht darauf, dass die jedes einzelne Körnchen umhüllende und dieselben verbindende grüne Substanz sich fortwährend so verhält, wie dies bei Chlorophyllkörnern mit einem einzigen Amylumkorn in ihrem jugendlichen Zustande der Fall ist, da sie von den weiteren Veränderungen durch die sie gemeinschaftlich umschliessende, sich zur *pellicula* verdichtende Hülle geschützt wird. Sie quillt nämlich im Wasser auf, die früher verdeckten Körnchen werden deutlicher und bei fortgesetzter Diffusion muss nothwendiger Weise eine Zerreissung des sich nicht weiter verändernden *pellicula*-ähnlichen Chlorophors erfolgen; denn er ist es, welcher die helle, bei Einwirkung des Wassers an diesen Chlorophyllkörnern sichtlich werdende Zone bildet,

die mit der Hülle der nur ein Amylumkorn enthaltenden Chlorophyllkörner zusammenfällt.

In allen Fällen also, wo die Chlorophyllkörner in Form von Bläschen erscheinen, wird die Membran derselben nur vom verdichteten Chlorophor gebildet, welcher die verschiedenen Körner und Körnchen des Zellinhaltes umhüllt. Zum Begriffe eines Farbebläschens selbst im gemeinen Wortsinne gehört aber offenbar, dass wenigstens die äusserste Schichte des Bläschens eine vom Farbstoffe selbst verschiedene Beschaffenheit besitzt; denn dadurch, dass der Farbstoff die Hülle um andere zufällige Stoffe bildet, bekommt er sicher doch keine Bläschennatur, und zwar auch dann nicht, wenn seine Unterlage auch auf was immer für eine Weise verschwindet und er noch so viel Festigkeit besitzt, seine frühere Gestalt beizubehalten. — Wären aber die Chlorophyllkörner wirklich von einer ganz eigenen, von der grünen Substanz verschiedenen Hülle umgeben, so würden sie dadurch allerdings eine wirkliche Bläschenform erhalten, darum aber nichts weniger als Bläschen im physiologischen Sinne werden; denn mit Recht erklärt Nägeli nicht alle hohlen Gebilde des Zellsaftes für Bläschen, zu deren Begriff nicht nur eine eigenthümliche Membran, sondern auch ein mit eigenthümlichen Veränderungen begabter Inhalt gehört. Bläschen aber, mit der Function eines Organismus, kenne ich ausser den Zellen im Pflanzenkörper eben so wenig als Mohl. Ich halte somit nach vielfältigen Untersuchungen die Chlorophyllkörner in dieser Beziehung für das, als was sie Mohl schon vor so langer Zeit so trefflich beschrieben hat.

Chlorophyllkörner, welche nur aus grüner (nicht auf Körner oder Körnchen des Zellinhaltes abgelagerter) Substanz bestehen, habe ich niemals beobachtet.

Nach Nägeli[1]) sind aber nicht blos die Chlorophyllkörner Bläschen, auch die grünen Bänder von *Zygnema* sind nach ihm von einer Membran überzogen, welche er sich durch Contactwirkung zwischen Zellflüssigkeit und dem gefärbten Protoplasma entstanden denkt. — Dass die äussere Begrenzung des Zellsaftes sich unter gewissen Umständen, abhängig von der ihr selbst zukommenden Beschaffenheit und der die Begrenzung bildenden Materie etwas verdichten könne, wird im Widerspruche mit den allgemein bekannten physicalischen Gesetzen

---

[1]) Pflanzenphysiolog. Untersuchungen, 1. Heft 1855, pag. 11.

Niemand bestreiten, und man muss zugeben, dass sie sofort allerdings eine membranartige Beschaffenheit annehmen könne, was aber bei den Chlorophyllkörnern, wie aus dem Obigen hervorgeht, nicht der Fall ist, höchstens vielleicht ausnahmsweise vorkommt, wie an dem mitgetheilten Fall von *Viscum*, da die verdichtete Aussenfläche derselben nur von dem mit wenig Chlorophyll imprägnirten Chlorophor gebildet ist. Überdies scheint mir überhaupt die grüne Substanz und das übrige Protoplasma gar nicht zu einer solchen *pellicula*-ähnlichen Verdichtung des Letztern an der Grenze des Erstern geeignet zu sein. während die Verdichtung der grünen Substanz an der Grenze des Protoplasma, sie mag als Hülle über körnige Gebilde des Zellinhaltes oder in Form von Bändern vorkommen, gar nichts Sonderbares an sich hat.

Wesentlich abweichend von der gegebenen Auseinandersetzung der Entstehung der Chlorophyllkörner sind Nägeli's Angaben[1]). Er behauptet, dass man dieselben, sobald sie eine hinlängliche Grösse besitzen, als Bläschen erkenne, deren Membran durch Intussusception wachsend, der Zellmembran durchaus identisch sei, nur nicht, was er anfänglich auch glaubte, aus Cellulose bestehe[2]), deren Function der Thätigkeit der Zelle dadurch gleichkomme, dass sie Amylumkörner bildet, durch Theilung sich vermehrt, welche Ansicht auch Hofmeister[3]) ausspricht u. s. f. — Allen diesen Angaben kann ich nach sorgfältigen und oft wiederholten Untersuchungen nicht beipflichten, selbst von einer Vergrösserung der Amylumkörner in Chlorophyllkörnern, obwohl ohne Annahme einer Bläschen- oder gar Zellennatur dieser letzteren allerdings erklärlich, konnte ich mich nie mit Gewissheit überzeugen.

Interessant ist der Farbenwechsel an den Blättern mancher Bromeliaceen, die unmittelbar den Blüthenstand umgeben. Es treten nämlich vor der Entwicklung des Blüthenstandes an dem oberen Theile der sogenannten Herzblätter hie und da braune Flecken auf, die sich vermehren, vergrössern und sich oft über das ganze Blatt ausbreiten, während sie zugleich durchs Dunkelrothe ins Hellrothe übergehen.

---

[1]) Zeitschrift für wissensch. Botanik, 3. und 4. Heft, pag. 111, und Pflanzenphysiol. Untersuchungen, pag. 15.

[2]) Systematische Übersicht der Erscheinungen im Pflanzenreiche, 1853, pag. 16.

[3]) Keimung höherer Kryptogamen, 1851, pag. 10, Note.

Als nächste Ursache dieses interessanten Farbenwechsels ergibt sich das Verschwinden der grünen, die Amylumkörner einhüllenden Substanz und gleichzeitiges Auftreten eines im Zellsafte gelösten rothen Farbstoffes. Dies geschieht zuerst in den oberflächlichen Zellen des Blattes, während die der mittleren Schichte desselben noch ihre unveränderten Chlorophyllkörner enthalten, wodurch eine schmutzigbraune Mischfarbe entsteht. Nach und nach trifft aber diese Veränderung sämmtliche Zellen des Blattparenchyms, wobei die braune Farbe allmählich in eine rothe und hellrothe übergeht.

Nach dem Verblühen verschwindet die rothe Farbe, so wie sie entstanden ist und weicht einem schmutzigen Braun, bis endlich das ganze Blatt wieder von oben nach unten grün gefärbt erscheint. Es verliert sich der rothe Farbstoff zuerst in dem Mesophyll, die Amylumkörner, die bei diesem Vorgange keine Veränderung erlitten, überziehen sich mit grüner Substanz und verwandeln sich so wieder in Chlorophyllkörner.

Bei dieser Auflösung und Wiederbildung des grünen Farbstoffes überzeugt man sich zur Genüge von der Richtigkeit der obigen Angaben. Die Ansicht, dass hierbei das aufgelöste Chlorophyll in den rothen Farbstoff umgewandelt werde, liegt allerdings sehr nahe. ermangelt aber jedes Beweises.

Was die chemischen Verhältnisse des Chlorophylls anbelangt, so wissen wir darüber so viel als Nichts.

Mulder's [1]) Analyse ist, wie er selbst zugesteht, ungenügend, und der von ihm angegebene Zusammenhang mit Wachs entbehrt jeder wissenschaftlichen Begründung. Der Umstand, dass mit Alkohol und Äther aus grünen Pflanzentheilen nebst dem Chlorophyll zugleich Wachs extrahirt werde, spricht sicher nicht für einen nothwendigen Zusammenhang dieser beiden Substanzen in der Pflanze, wenn gleich die grünen Theile derselben von Letzterem mehr enthalten als die übrigen. Ebenso zweifelhaft ist auch Mulder's Behauptung von der Umwandlung des Blattgrüns in einen blauen Farbstoff, und Decaisne's [2]) Angabe von der Umwandlung des Chlorophylls in Krappfarbstoff bedarf noch der Bestätigung.

---

[1]) Versuch einer allg. physiol. Chemie, 1844 bis 1851, pag. 272 u. s. w.

[2]) Recherches anatomiques et physiologiques sur la Garance, 1837.

Von Interesse ist das Resultat der Untersuchungen Verdeil's[1]) über die alkoholische Chlorophylllösung, falls es sich zeigt, dass der von ihm in selber aufgefundene Eisengehalt, wie es allerdings wahrscheinlich ist, auch in der Pflanze mit dem Blattgrün verbunden vorkommt und nicht als eine andere in Weingeist lösliche organische Verbindung enthalten ist. Sonderbar ist aber die Schlussfolgerung Verdeil's[2]), dass desshalb die Chlorophyllkörner den Blutkörperchen analog seien.

Aus Angström's[3]) physicalischen Untersuchungen der alkoholischen Chlorophylllösung geht hervor, dass die optischen Eigenschaften derselben wesentlich dieselben sind, ob sie aus Pflanzen oder grünen Infusorien gewonnen sei. Die Unterschiede, die sich in dieser Beziehung zeigen, rühren sicher nicht, wie Fürst zu Salm-Horstmar[4]) vermuthet, vom Chlorophyll, sondern von der Lösung beigemischter fremdartiger Stoffe her. Ebenso wird die Annahme, dass der Träger des Chlorophylls wachsartiger Natur sei, durch keine einzige wissenschaftlich begründete Thatsache unterstützt.

Was die Lagerung der Chlorophyllkörner anbelangt, so kleiden sie gewöhnlich die innere Zellwandung aus, liegen, wenn sie eine feinkörnige Structur besitzen, gewöhnlich sehr enge an einander, so dass sie an ihrer seitlichen Begrenzung eine polyedrische Gestalt erhalten und das Bild eines Durchschnittes durch ein parenchymatisches Zellgewebe nachahmen. In Wasser lösen sie sich, sobald durch die Einwirkung desselben ihre körnige Structur hervortritt, von der Zellwandung los und die Trennung der nachbarlichen Körner erfolgt stets in der Mitte der hellen Begrenzungslinie. Dies scheint mir aber nicht von einer gallertigen Substanz, in der die Chlorophyllkörner eingebettet sein sollen, bedingt zu sein, sondern von der lichtern Peripherie des Chlorophors herzurühren. Leicht gelingt diese Loslösung von der Zellwand durch Druck vermittelst des Deckglases, wobei auch die körnige Structur der Chlorophyllkörner gleich

---

[1]) Compt. rend. F. XXXIII, pag. 689—690.

[2]) Journal de Pharm. 1844, pag. 212.

[3]) Of versigt of konge. Vetensk. akad. Förhandl. 1853, pag. 246, deutsch in Poggend. Ann. Band 93, 1844, pag. 475.

[4]) Untersuchungen des grünen Stoffes, den die kleinsten grünen Infusorien enthalten. Pogg. Ann. Band 94, 1855, pag. 466.

hervortritt. Auf diese Weise überzeugte ich mich, dass die Chlorophyllkörner der Spaltöffnungszellen nicht nur ein, sondern häufig mehrere Amylumkörner enthalten, z. B. *Linaria genistifolia*. Bei jungen Blättern von *Asphidelus luteus* aber sind sie inniger an die Zellwand angelöthet, so dass es schwer, oft gar nicht gelingt, sie von derselben zu trennen. Auch in im Wasser macerirten und selbst längere Zeit hindurch mit Schwefelsäure behandelten (in Alkohol ausgezogenen oder nicht ausgezogenen) Blättern behielten sie noch ihre frühere Lagerung. Bei älteren Blättern lösen sie sich jedoch ziemlich leicht von der Zellwand, und die körnige Structur derselben tritt dabei auch deutlich hervor. Selten findet man die Chlorophyllkörner im Zellsafte schwimmen, und durch ihre Bewegung erkennt man die Strömung des Zellsaftes.

Nach Mohl's[1]) Angabe sind in der mittleren Schichte des Blattes von *Orontium (Rhodea) japonicum* die Chlorophyllkörner in der Mitte der Zelle zu einem Haufen zusammengeballt. Ich habe diese Pflanze oft untersucht, fand aber immer die Chlorophyllkörner an der Zellwandung anliegen. Bei der grossen Aufmerksamkeit jedoch, mit der ich die Chlorophyllkörner der verschiedenen *Sedum*-Arten untersuchte, zeigte sich mir eine höchst interessante Erscheinung. Ich brachte nämlich mehrere Arten derselben mit cylindrischen Blättern ins warme Haus, dessen Fenster sich gegen Süden öffneten, um vielleicht in den Blättern der unter diesen Umständen sich rasch entwickelnden Triebe über die jugendlichen Zustände der Chlorophyllkörner einigen Aufschluss zu erhalten. Zufälliger Weise untersuchte ich sie längere Zeit hindurch täglich zur Mittagsstunde, und ward nicht wenig überrascht, stets sämmtliche Chlorophyllkörner zu einer Gruppe vereinigt irgend einer Stelle der Zellwandung anliegend zu finden, zumal da ich an Exemplaren derselben Species, die im Freien standen, eine solche Lagerung vermisste. Die Annahme, dass dies abweichende Verhältniss nur den unter den gegebenen Umständen entwickelten Blättern zukomme, schien mir gleich anfänglich sehr unwahrscheinlich; ich glaubte aber, dass die verschiedene Temperatur vielleicht Ursache dieser verschiedenen Lagerungsverhältnisse sei. Allein der Versuch erwies die geleitete Wärme in dieser Beziehung wirkungslos, und somit konnten es nur die directen Sonnenstrahlen

[1]) Vermischte Schriften, pag. 353.

sein, welche diese Lageveränderung bewerkstelligten. Es wurden also Pflänzchen von *Sedum sexangulare*, *Sedum dasiphyllum*, bei denen sich die Chlorophyllkörner an der Zellwand befanden, zur Mittagszeit in den heissen Julitagen den Sonnenstrahlen ausgesetzt, und nach kaum einer Stunde fand ich alle Chlorophyllkörner einer jeden Zelle zu einer Gruppe vereinigt.

Bekanntlich empfinden wir einen beträchtlichen Theil der Strahlung, welcher von glühenden und brennenden Körpern ausgeht, nicht als Licht, sondern es äussert sich derselbe vorzüglich als Wärme oder zeichnet sich durch seine chemische Wirkung aus. Es sind dies die dunklen Strahlen, welche im Spectrum jenseits des Roth und Violett (besser des Lavendelgrau, Herschel) liegen. So werden von uns nur diejenigen Strahlen als Licht empfunden, deren Schwingungsdauer zwischen den besagten Extremen liegt.

Es war nun vorerst zu entscheiden, welche Art der Sonnenstrahlen die Gruppirung der Chlorophyllkörner veranlasst.

Ich habe mir bei meinen beschränkten Mitteln viel Mühe gegeben, diese Frage zu lösen. Da ich aber weder eine dunkle Kammer noch einen Heliostaten zur Verfügung hatte, so konnte dies doch kaum mit physicalischer Genauigkeit geschehen. Doch habe ich mit Hilfe von alaun- und schwefelsaurer Chininlösung, mit Lösungen von schwefelsaurem Kupferoxyd-Ammoniak, mit grünen und rothen Kupfergläsern, mit der strahlenden Wärme eines geheizten schwarzen Ofens etc. eine Reihe von Versuchen angestellt, die ich später einer verehrten Classe vorlegen werde, da ich nun in Stand gesetzt bin, diese Versuche mit physicalischer Genauigkeit zu wiederholen und zu vervollständigen. Nur auf Einiges will ich noch aufmerksam machen.

Um zu erfahren, ob die Lageveränderung der Chlorophyllkörner auch an den dem Sonnenlichte ausgesetzten, zur mikroskopischen Betrachtung verfertigten Präparaten erfolge, legte ich selbe, um sie vor dem Vertrocknen zu schützen, entweder auf einen Streifen weissen Filtrirpapieres, dessen eines Ende in ein mit Wasser gefülltes Gefäss getaucht wurde, oder gleich in Wasser selbst (da auch bei ganzen Blättern dieses Medium die Lageveränderung der Chlorophyllkörner nicht verhindert). Die Gruppirung der grünen Körner erfolgte stets auffallend schnell; doch es zeigte sich bald, dass unter solchen Umständen besagte Veränderung auch im vollkommen finsteren Raume nach mehreren Stunden eintritt. Dasselbe geschieht auch, wenn die

Intercellulargänge der Blätter mit Wasser injicirt werden, nur vereinigen sich in diesen Fällen die Chlorophyllkörner derselben Zelle nie so vollkommen, sondern bleiben fast immer in mehreren Gruppen vertheilt.

Diese Lageänderung und Gruppirung der Chlorophyllkörner habe ich unter den dazu geeigneten Verhältnissen bei allen von mir in dieser Beziehung bisher ohne Auswahl untersuchten Crassulaceen (17 Gattungen und über 100 Arten) beobachtet, und sie ist hier nicht blos auf die Blätter beschränkt, sondern kommt auch im Stengel vor, z. B. besonders schön bei *Sedum Telephium;* zu Versuchen fand ich aber frische, mittelgrosse Blätter der schon oben namhaft gemachten Arten *Sedum acre* und *Sedum dasiphyllum* am geeignetsten.

Da auch zerstreutes, besonders aber das von einer weissen Wand reflectirte Sonnenlicht auf die Lage der Chlorophyllkörner nicht ohne Einfluss ist, so muss die Pflanze wenigstens einen halben Tag vor dem Versuche (denn so lange beiläufig brauchen die gruppirten Chlorophyllkörner, um in ihre frühere Lage wieder vollständig zurückzukehren) in einen finstern Raum gestellt werden. — Um Präparate mit gruppirten Chlorophyllkörnern aufzubewahren, eignet sich am besten Zuckerlösung.
